

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2001-521633

(P2001-521633A)

(43) 公表日 平成13年11月6日 (2001.11.6)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 2 B 5/28
6/00
6/26

識別記号

3 0 6

F I

G 0 2 B 5/28
6/00
6/26

データベース* (参考)

3 0 6

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願平9-528571
(86) (22) 出願日 平成9年2月3日 (1997.2.3)
(85) 翻訳文提出日 平成10年8月10日 (1998.8.10)
(86) 国際出願番号 PCT/US97/01509
(87) 国際公開番号 WO97/29392
(87) 国際公開日 平成9年8月14日 (1997.8.14)
(31) 優先権主張番号 60/011,444
(32) 優先日 平成8年2月9日 (1996.2.9)
(33) 優先権主張国 米国 (US)
(81) 指定国 EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), AU, CA, CN, JP, KR

(71) 出願人 コーニング インコーポレイテッド
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14831
コーニング リヴァーフロント プラザ
1
(72) 発明者 バガヴァトゥラ, ヴェンカタ エイ
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14814
ビッグ フラッツ オーチャード ドラ
イヴ 29
(74) 代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

(54) 【発明の名称】 多光路干渉フィルタ

(57) 【要約】

干渉フィルタ (10、30、50、70、110、130、150、または190) は、入射ビームを、光路長の異なる複数の中間光路に分割し、この中間ビームを、中間ビーム間の干渉により改変される出力ビームに再結合することにより、選択された波長をろ波する。光路差発生器 (20、40、60、80、100、120、140、160、または200) は、それら光路の物理的長さまたはそれらが伝達される媒質の屈折率を変更することにより中間ビームの光路長を変更する。ある実施の形態 (10) の光路差発生器 (20) は、中間ビームの光路長を変える、異なる屈折率を有する固体光学要素 (22および24) に分割されるスパーサプレート (20) を備えている。別の光路差発生器 (140) は、中間ビーム間の物理的光路長を変更する、少なくとも一つの公称波長だけビームの伝搬方向において間隔が離れた配置された部分的反射表面の積重体 (144) により形成される。

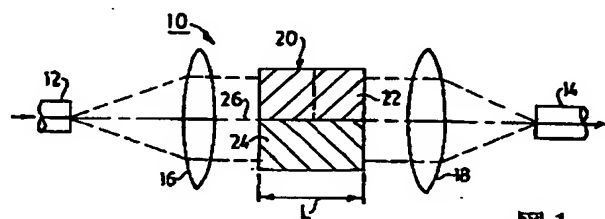


図 1

【特許請求の範囲】

1. 光の多波長ビームのスペクトルパワー分布を改変する多光路干渉フィルタであって、
異なる波長範囲を含む入力ビームを透過させる入力光路と、
光導波路内に制限された出力ビームを透過させる出力光路と、
ビームの伝搬方向に延在し、異なる有効屈折率を有し、前記入力ビームの別々の部分を異なる光路長に透過させる複数の中間光路を有する光路差発生器と、
前記別々のビーム部分を該別々のビーム部分の間の干渉の結果として前記入力ビームに関して改変されるスペクトルパワー分布を有する前記出力ビームに再結合させる焦点合せ光学素子とからなり、
前記光路差発生器および焦点合せ光学素子が、共通の基準軸にアライメントされており、
前記中間光路が、前記基準軸の対向する側に屈折率の対称分布を提供するように配置されていることを特徴とするフィルタ。
2. 前記中間光路が、前記入力ビームの放射状対称部分を透過させるように同心であることを特徴とする請求の範囲1記載のフィルタ。
3. 前記中間光路が、等しい物理的長さを有し、前記入力ビームの別々の部分を異なる光路長に透過させる、異なる屈折率を有する複数の固体光学材料から形成されていることを特徴とする請求の範囲1記載のフィルタ。
4. 前記中間光路が、等しい物理的長さを有し、前記異なる有効屈折率を示すように、異なる比率で同一の材料の組合せから作成されることを特徴とする請求の範囲1記載のフィルタ。
5. 前記組合せの各々の材料が異なる物理的状态で存在することを特徴とする請求の範囲4記載のフィルタ。
6. 前記別々のビーム部分を反射させて前記中間光路を通して戻り、それによって、該別々のビーム部分の間の光路長を二倍にするように、該中間光路に沿って反射表面が形成されていることを特徴とする請求の範囲1記載のフィルタ。
7. 前記焦点合せ光学素子が、前記別々のビーム部分を反射させて前記中間光路

を通過して戻るように、該中間光路に沿って形成された反射表面であることを特徴とする請求の範囲1記載のフィルタ。

8. 前記中間光路が、前記反射表面の焦点に向かって集束することを特徴とする請求の範囲1記載のフィルタ。

9. 前記入力および出力光路、前記焦点合せ光学素子並びに前記光路差発生器が、ある長さの光ファイバに沿った部分に形成されていることを特徴とする請求の範囲1記載のフィルタ。

10. 前記焦点合せ光学素子が前記光ファイバに沿った部分に形成された二つの焦点合せ光学素子のうちの第二のものであり、該焦点合せ光学素子のうちの第一のものが前記入力光路を前記中間光路に光学的に結合させ、該第二の焦点合せ光学素子が該中間光路を前記出力光路に光学的に結合させることを特徴とする請求の範囲9記載のフィルタ。

11. 前記焦点合せ光学素子がファイバ勾配屈折率レンズであることを特徴とする請求の範囲10記載のフィルタ。

12. 光の多波長ビームのスペクトルパワー分布を改変する多光路干渉フィルタであって、

異なる波長範囲を含む入力ビームを透過させる入力光路と、

光導波路内に制限された出力ビームを透過させる出力光路と、

ビームの伝搬方向に延在する複数の中間光路を有する光路差発生器と、

前記入力ビームの別々の部分を異なる光路長に透過させる、異なる屈折率を有する複数の固体光学材料から形成された該中間光路と、

前記別々のビーム部分を該別々のビーム部分の間の干渉の結果として前記入力ビームに関して改変されるスペクトルパワー分布を有する前記出力ビームに再結合させる焦点合せ光学素子とからなることを特徴とするフィルタ。

13. 前記異なる屈折率を有する固体光学材料が、前記中間光路に沿って等しい長さだけ延在することを特徴とする請求の範囲12記載のフィルタ。

14. 前記中間光路が基準軸に対して平行に延在し、前記固体光学材料が、該基準軸の対向する側に前記屈折率の対称分布を提供するように配置されていることを特徴とする請求の範囲12記載のフィルタ。

15. 前記焦点合せ光学素子および前記光路差発生器が、ある長さの光ファイバに沿った部分に形成されていることを特徴とする請求の範囲12記載のフィルタ。
16. 前記中間光路が前記ファイバ内の異なるコア材料により区別されることを特徴とする請求の範囲15記載のフィルタ。
17. 前記中間光路の有効屈折率を改変する外部制御装置を備えていることを特徴とする請求の範囲16記載のフィルタ。
18. 光の多波長ビームのスペクトルパワー分布を改変する多光路干渉フィルタであって、
異なる波長範囲を含む入力ビームを透過させる入力光路と、
光導波路内に制限された出力ビームを透過させる出力光路と、
ビームの伝搬方向に延在し、異なる有効屈折率を有し、前記入力ビームの別々の部分を異なる光路長に通過させる、複数の等しい物理的長さの中間光路を有する光路差発生器と、
前記異なる有効屈折率を有するように、異なる比率の同一材料の組合せにより形成された該等しい物理的長さの中間光路と、
前記別々のビーム部分を該別々のビーム部分の間の干渉の結果として前記入力ビームに関して改変されるスペクトルパワー分布を有する前記出力ビームに再結合させる焦点合せ光学素子とからなることを特徴とするフィルタ。
19. 前記組合せの各々の内部の材料が、異なる物理的状态で存在することを特徴とする請求の範囲18記載のフィルタ。
20. 前記材料のうちの一つが固体であり、該材料のうちの別のものが空気であることを特徴とする請求の範囲19記載のフィルタ。
21. 光の多波長ビームのスペクトルパワー分布を改変する多光路干渉フィルタであって、
異なる波長範囲を含む入力ビームを透過させる入力光路と、
光導波路内に制限された出力ビームを透過させる出力光路と、
ビームの伝搬方向に延在し、異なる有効屈折率を有し、前記入力ビームの別々の部分を異なる光路長に通過させる、複数の等しい物理的長さの中間光路を有する光路差発生器と、

前記別々のビーム部分を反射させて前記中間光路を通って戻り、それによって、該別々のビーム部分の間の光路長を二倍にするように、該中間光路に沿って形成された反射表面とからなることを特徴とするフィルタ。

22. 前記反射表面が、前記焦点合せ光学素子として機能するように曲率を有することを特徴とする請求の範囲21記載のフィルタ。

23. 前記中間光路が前記反射表面の焦点に向かって集束することを特徴とする請求の範囲22記載のフィルタ。

24. 入力光路と出力光路との間で透過される光のビームのスペクトルパワー分布を変更する多光路干渉フィルタであって、

該入力光路と出力光路を光学的に結合させる光路差発生器であって、該入力光路と出力光路との間のビームの伝搬方向に互い違いに配置され、前記ビームの対応する大きさの部分を反射させて該入力光路と出力光路との間の異なる物理的光路長に通す反射表面のアレイを有する光路差発生器を備え、

該反射表面が前記ビーム内の横のエネルギー分布に関して相対的な大きさであり、該ビームの異なる大きさの部分の間の干渉を向上させることを特徴とするフィルタ。

25. 前記反射表面が、前記光路差発生器を前記入力光路および出力光路に結合させる焦点合せ機能を提供するように配向されていることを特徴とする請求の範囲24記載のフィルタ。

26. 前記反射表面が、前記ビームの放射状対称部分を透過させるように同心であることを特徴とする請求の範囲24記載のフィルタ。

27. 前記異なる大きさのビーム部分の間の光路差が、前記中間光路の有効屈折率間の差によりさらに変更されることを特徴とする請求の範囲24記載のフィルタ。

28. 多光路干渉フィルタであって、

光の伝搬ビームを透過させる入力光路および出力光路、

該伝搬ビームの少なくとも一つの波長を通す、ビームの伝搬方向において間隔の離れた平らな部分的反射表面の積重体を有する光路差発生器、

該伝搬ビームの別々の部分を反射させて、前記ビームの伝搬方向の少なくとも

も一つの波長と等しい異なる物理的光路長に通す各々の該部分的反射表面、お

よび

前記伝搬ビームのスペクトルパワー分布を改変する干渉パターンを形成する前記別々のビーム部分を再結合する焦点合せ光学素子からなることを特徴とするフィルタ。

29. 前記部分的反射表面が部分的反射コーティングにより形成されていることを特徴とする請求の範囲28記載のフィルタ。

30. 前記部分的反射コーティングが、反射および透過の別個の区域を備えていることを特徴とする請求の範囲29記載のフィルタ。

31. 前記部分的反射表面が、少なくとも10パーセントだけ異なる屈折率を有する材料の隣接層により形成されていることを特徴とする請求の範囲28記載のフィルタ。

32. 前記部分的反射表面の合計数が100以下であることを特徴とする請求の範囲28記載のフィルタ。

33. 前記部分的反射表面が、少なくとも10ミクロンだけ離れた間隔で配置されていることを特徴とする請求の範囲32記載のフィルタ。

34. 前記焦点合せ光学素子が、前記伝搬ビームを前記光路差発生器の複数の平らな部分的反射表面に対してほぼ垂直に入射させるように方向付けるコリメータとして機能することを特徴とする請求の範囲28記載のフィルタ。

35. 前記部分的反射表面の反射率が互いに異なり、前記伝搬ビームのスペクトルパワー分布をさらに改変することを特徴とする請求の範囲28記載のフィルタ。

36. 前記部分的反射表面間の間隔が互いに異なり、前記伝搬ビームのスペクトルパワー分布をさらに改変することを特徴とする請求の範囲28記載のフィルタ。

37. 光ファイバに沿って形成された多光路干渉フィルタであって、異なる波長範囲を有する入力ビームを平行にする第一のファイバレンズ、ビームの伝搬方向に延在し、異なる有効屈折率を有し、前記平行にされたビームの別々の部分を異なる光路長に透過させる複数の平行な中間光路を有するスペーサ、および

前記別々のビーム部分を該別々のビーム部分間の干渉の結果として前記入力ビームに関して改変されるスペクトルパワー分布を有する出力ビームに再結合

させる第二のファイバレンズからなり、

前記スペーサが前記第一と第二のファイバレンズに隣接して取り付けられて、連続した長さの前記ファイバを形成することを特徴とするフィルタ。

38. 前記第一と第二のファイバレンズの両方がファイバ勾配屈折率レンズであることを特徴とする請求の範囲37記載のフィルタ。

39. 前記中間光路が異なる固体光学材料により区別されることを特徴とする請求の範囲37記載のフィルタ。

40. 前記異なる中間光路が、異なる有効屈折率を示すように、異なる比率で同一の材料の組合せにより区別されることを特徴とする請求の範囲37記載のフィルタ。

41. 前記中間光路が、前記入力ビームの対応する大きさの部分を透過させるように、異なる量の横の区域を占めるような相対的な大きさであることを特徴とする請求の範囲37記載のフィルタ。

42. 前記中間光路の区域が、前記入力ビームの放射状対称部分を透過させる環状の形状を有することを特徴とする請求の範囲41記載のフィルタ。

43. 前記中間光路の有効屈折率を変化させる外部制御装置を備えていることを特徴とする請求の範囲37記載のフィルタ。

【発明の詳細な説明】

多光路干渉フィルタ

技術分野

本発明は、干渉機構を用いた光の選択された波長をろ波する光学装置に関するものである。

背景

干渉フィルタでは、構造的干渉および破壊的干渉の組合せを用いてフィルタ応答を形成している。構造的干渉に曝される波長はフィルタを通過し、破壊的干渉に曝される波長は遮断される。この干渉は、同一ビームの異なる位相シフト部分を重複させることにより生じる。そのような例としては、ファブリ・ペローエタロン、誘電体フィルタ、およびファイバブラッグ格子が挙げられる。

ファブリ・ペローエタロンでは、対向する部分的反射性表面の対を用いて、反射されるビーム部分の間で多重干渉を生じている。しかしながら、フィルタの応答は制限されている。正弦応答曲線が典型的である。この製造は、反射表面を正確にアライメントする必要があるために、複雑である。

誘電体フィルタおよびファイバブラッグ格子は、高屈折率と低屈折率の交互の層を有して、層間の間隔だけオフセットされた一連の部分反射を生じている。典型的に、これらの層は、ろ波されるビームの公称波長の四分の一だけ間隔が離れている。誘電体フィルタの組立てに関して、この間隔を保持することは難しい。この誘電体フィルタの従来の製造は、バルク光学素子に限られている。このバルク光学素子は一般的に、匹敵する集積光学素子よりも費用が高い。

ファイバブラッグ格子の屈折率変動は非常に小さく（例えば、0.0001）、そのため、望ましくない波長を減衰させるのに、非常に多くの層が必要とされる。交互の層は、感光性材料を定在波に露出することにより形成される。これにより、材料の選択が、感光性材料に制限される。

マハパトラ (Mahapatra) 等の米国特許第4,715,027号には、フィルタとしても配置できるマルチ/デマルチプレクサが開示されている。エシュロン格子は、階段

状に配置された反射表面を有して、光を反射して光源に等間隔の周波数で戻す。

フィルタは集積光学素子として製造できるけれども、その応答も制限されている。それらのフィルタは、応答をさらに改良するために、バーニアに似て連続して階段状になっていなければならない。

発明の概要

本発明はまた、光の入力ビームを光路長が異なる二つ以上の中間ビームに分割し、これらの中間ビームを、中間ビーム間の干渉により入力ビームから改変された出力ビームに再結合させることにより、光の選択された波長をろ波するものである。中間ビームの光路長は、それぞれの光路の物理的長さ、またはそれらが伝搬される媒質の屈折率のいずれかを変えることにより変更することができる。

本発明の多光路フィルタは、入力および出力光路並びに光路差発生器を備えている。一つ以上の焦点合せ光学素子を用いて、光路差発生器を入力および出力光路に結合させることができる。例えば、入力および出力光路を、光路差発生器として機能する一組の焦点合せ光学素子およびスペーサプレートとともに光軸にアライメントすることができる。第一の焦点合せ光学素子は、入力光路から放出された広がる入力ビームを平行にする。スペーサプレートには、平行となったビームを光路長が異なる対応する数の中間ビームに分割する二つ以上の中間光路がある。第二の焦点合せ光学素子は、中間ビームを出力光路の焦点で集束させて再結合させる。

本発明の多光路フィルタの別の形態は、光軸から外れている隣接する入力および出力光路を備えている。一つの焦点合せ光学素子が、入力光路からの入力ビームを平行にし、戻ってくる中間ビームを出力光路の焦点に合わせるスペーサプレートおよび反射光学素子と協同する。反射光学素子を加えることにより、中間ビームがスペーサプレートを二回横切り、それにより、それらの光路長の間の差が二倍になる。あるいは、反射光学素子を湾曲させて、焦点合せ光学素子の機能を果たさせることもできる。入力光路からの発散ビームが、復路で反射され、収束ビームとして中間光路を通して出力光路に達する。

スペーサプレートの中間光路は、所望のスペクトル応答を達成するために、数、材料、横の面積、および縦の長さにおいて異なっても差し支えない。中間ビ

ーム間の光路差は、中間光路を形成する材料の屈折率を変更することにより、それらの長さを変更することにより、あるいは、両方を変更することにより生じる。中間光路の横の面積により、中間ビームの相対的エネルギーが制御され、異なる中間光路の数により、所望のスペクトル応答に寄与し得る中間ビームの数が制御される。一般的に、中間光路の数は、従来の干渉モデルにおけるスリットの数と類似している。

スペーサプレートの代わりに、反射積重体を用いて、中間ビーム間の光路差を生じさせても差し支えない。反射積重体の各々の層は、この積重体に入射する全光の一部を反射させる反射コーティングを有している。部分反射により、空間的に重複するが、少なくとも一つの波長の異なる物理的光路長により中間ビームを分離する複数の中間光路が提供される。各々の層の数、材料、部分的反射率、および縦の長さを制御して、スペクトル応答を調節しても差し支えない。

本発明のフィルタをは、バルク光学素子、集積光学素子内に、または様々なハイブリッドの組合せで提供することができる。例えば、構成部材の全てをプレーナ技術で構築することができる。しかしながら、好ましくは、他の構成部材に対して平行に光をより正確に反射させるために、別々に配向した構成部材を用いる。本発明のフィルタを一つのファイバ内に組み込むこともできる。二つの焦点合せ光学素子および光路差発生器として機能するスペーサを融着接続して、ファイバの二つの端部を接合させる。

ファイバのスペーサまたは他の器具内の材料を組み合わせ、温度、圧力、もしくは電場または磁場のような外部の制御条件により異なる屈折特性を示させても差し支えない。選択された波長に対するフィルタ応答を調節するために、異なる中間光路間の屈折率差を制御下で変動させても差し支えない。

図面

図1は、軸方向にアライメントされた入力ファイバおよび出力ファイバの間の光路差を発生させる、二部スペーサブロックを用いた本発明の多光路干渉フィルタの光学図である。

図2は、ある波長領域に亘る透過強度の尺度としての本発明のフィルタの典型的なスペクトル応答のグラフである。

図3は、別のスペーサブロックを備えた同様の干渉フィルタの光学図である。

図4は、二つの同心要素を有する別のスペーサブロックを備えた同様の多光路干渉フィルタの光学図である。

図5は、別のスペーサブロックおよび反射光学素子により光学的に接続された隣接する入力ファイバおよび出力ファイバを備えた本発明の多光路干渉フィルタの光学図である。

図6は、より複雑なスペクトル応答を提供するために、別のスペーサブロックが追加の要素を備えた同様の干渉フィルタの光学図である。

図7は、図2のグラフと同様であるが、追加のスペーサブロック要素により提供されるより複雑なスペクトル応答を示すグラフである。

図8は、複雑なスペクトル応答を提供するために、別のスペーサブロックを備えた同様の干渉フィルタの光学図である。

図9は、屈折積重体が光路差発生器として機能する本発明の多光路干渉フィルタの光学図である。

図10は、二つのグリーンレンズおよび光路差を発生させるスペーサにより形成された本発明の多光路干渉フィルタを備えた光ファイバの断面図である。

図11は、異なる光路を提供するための二つの異なる光学セグメントを示す、スペーサを通る線11-11に沿った断面図である。

図12は、フィルタのスペクトル応答を調整するための二つの電極により包囲された別のスペーサの同様の断面図である。

図13は、ガウス屈折率分布を有する多モードファイバに融着された単一モードファイバの断面図である。

図14は、グリーンファイバロッドレンズとして使用するのに適した長さに開裂された多モードファイバを備えた同一の二つのファイバの断面図である。

図15は、焦点合せ光学素子の機能を果たすように形成された反射表面を備えた、図4-6のフィルタと同様の干渉フィルタの光学図である。

詳細な説明

バルク光学素子において実施した多光路フィルタ10としての本発明の一つの実施の形態が図1に示されている。図示されたフィルタ10は、二つのレンズ16およ

び18（焦点合せ光学素子）並びに光路差発生器として機能するスペーサプレート20により光学的に結合された単一モードの入力ファイバ12および出力ファイバ14を備えている。第一のレンズ16は、入力ファイバ12からの広がる入力ビームを、垂直入射でスペーサプレート20に当たる平行ビームに変える。

スペーサプレート20は、平行ビームの異なる横部分に対して平行に延在する二つの異なる光学要素22および24（中間光路）に分割されている。要素22は、第一の屈折率「 n_1 」を有する材料により形成され、要素24は、第二の屈折率「 n_2 」を有する材料により形成されている。スペーサプレート20の二つの要素22および24は、平行ビームを、以下の方程式：

$$(1) \quad \Delta OPL = L (n_1 - n_2)$$

により決定される異なる光路長を有する平行な中間ビームに分割する。ここで、「 ΔOPL 」は二つの中間ビームの光路差であり、「 L 」は伝搬方向におけるスペーサプレートの縦の長さである。

第二のレンズ18は、出力ファイバ14の内側端部の焦点に二つの中間ビームを集束させ、再結合させる。この出力ファイバ14は、入力ファイバ12と共通の光軸26に沿って位置している。再結合されたときに、光路差「 ΔOPL 」の整数倍数「 M 」である波長「 λ 」で、構造的干渉が周期的に発生する。これは数学的に：

$$(2) \quad \Delta OPL = M\lambda$$

により表される。

フィルタ10の典型的なスペクトル応答曲線が図2に示されている。フィルタ10に進入するビームの元のスペクトルパワー分布は、測定した波長の領域全体に亘り均一であると考えられる。フィルタ10を出る際のビームのスペクトルパワー分布を反映する応答曲線28は、ビーム間の最大構造的干渉に曝される波長に位置するピーク強度を有する周期的な形態を有している。全ての他の波長は、様々な程度の破壊的干渉に曝される。倍数「 M 」の好ましい範囲は、20から150までの間である。

図3に示す別の多光路フィルタ30は、同様の入力ファイバ32と出力ファイバ34、およびレンズ36と38、並びに異なるスペーサプレートを備えている。このスペーサプレート40は、基盤要素42および横方向でスペーサプレート40を特徴付ける

延

長要素44から作成されている。基盤要素42が均質であるとする、光路差に対して重要な唯一の寸法は、延長要素44の寸法「 L 」である。方程式(1)が引き続き適用される。しかしながら、屈折率「 n_1 」は単位元と考えられ、屈折率「 n_2 」は延長要素44の材料より決定される。

図4は、同様の入力ファイバ52と出力ファイバ54およびレンズ56と58を備えた別のフィルタ50を示している。スペクトル応答関数もまた同様である。しかしながら、光路差は、開口66の異なる横の面積を占める二つの同心要素62と64から作成されるスペーサプレート60により生じる。円形を有する要素62は、環状要素64により囲まれている。要素62および64の各々は、異なる材料から形成されており、そのうちの一方は、空気であっても差し支えないが、両方の要素は共通の長さ「 L 」を共有している。

透過波長および非透過波長のそれぞれの強度の間のコントラストは、二つの要素62および64の横の面積を調節することにより制御することができる。それぞれの面積は、二つの要素62および64の有効半径の相対的サイズ「 r_1 」および「 r_2 」を変えることにより調節される。例えば、コントラストは、それぞれの面積を入射する平行ビームの強度分布に関係付けて、二つの要素62および64を透過するスペクトルエネルギーを釣り合わせるにより、最大にすることができる。二つの要素62および64の同心形状により、放射状に対称のパワー分布を有するビーム内のパワーの分割が単純になる。

図5に示される多光路フィルタ70は、いくつかの点で異なっている。入力ファイバ72および出力ファイバ74が、単レンズ76の同一側であるが、光軸68の反対側（すなわち、またがる）に互いに隣り合って位置している。入力ファイバ72は、単レンズ76により平行にされる発散ビームを放出する。反射光学要素78は、スペーサプレート80を通過した後の平行ビームを再帰反射する。この戻り際に、平行ビームが単レンズ76により出力ファイバ74の焦点に再度収束される。結合効率を最大にするために、入力ファイバ72および出力ファイバ74は、光軸68と反射光学要素78との交点に関して縦にアライメントされて光軸68に向かって傾斜して

も差し支えない。

反射光学素子78は、スペーサプレート80の遠くの表面上の反射コーティングとしてまたは別の鏡として形成されていても差し支えない。スペーサプレート80の要素82および84は、同心であるが、長さ「 L_1 」および「 L_2 」の寸法および材料の組成（すなわち、 n_1 および n_2 ）の両方が異なっている。反射を原因として生じた光路差「 ΔOPL 」は、以下のように表すことができる：

$$(3) \quad \Delta OPL = 2L_1(n_1 - 1) - 2L_2(n_2 - 1)$$

これら全ての変更にもかかわらず、半径「 r_1 」および「 r_2 」により決定されるコントラストに関して、図2と同様のスペクトル応答曲線がまだ可能である。スペーサ要素82および84の他の形状およびサイズを用いて、必要とされる光路差を生じさせても差し支えない。

単レンズ76は、入力ファイバ72から発せられる光を出力ファイバ74に戻るコースに反射させる球体として反射光学素子を形成することにより除去しても差し支えない。スペーサ要素82および84を放射状線に沿って再度形成して、発散ビームおよび収束ビームの一部を分割する。

図6は、入力ファイバ92により放出される光を出力ファイバ94に戻るコースに再帰反射させる、スペーサプレートに関連する反射要素98および単レンズ96とともに、入力ファイバ92および出力ファイバ94が同様に配置されている多光路フィルタ90を示している。スペーサプレート100は、「 L_1 」から「 L_2 」へと長さが変化し、「 r_1 」から「 r_n 」へと半径が変化する多数の環状要素102、104、106および108により特徴付けられる。環状要素102、104、106および108のそれぞれの屈折率「 n_1 」から「 n_n 」は、同一であっても、異なっても差し支えない。同一である場合には、対応する中間光路の光路長は、同一の組合せ（例えば、ガラスおよび空気）であるが、異なる有効屈折率を有する異なる比率の材料により異なっている。

結果は、スペーサプレート100の環状要素102、104、106および108により相対的に異なるそれぞれの光路長を有する追加の中間ビームの組合せにより発生するより複雑な干渉パターンである。ある波長領域に亘る透過強度の典型的なスペク

トル応答曲線88が図7に示されている。ここでは、ピーク強度は、図2の応答曲線におけるよりも狭く、間隔が広がっている。さらに、応答曲線88の形状を、環状要素102、104、106および108の長さ「 L_1 」から「 L_n 」、屈折率「 n_1 」から「 n

」、または半径「 r_1 」から「 r_n 」を相対的に調節することにより制御しても差し支えない。長さ「 L_1 」から「 L_n 」または屈折率「 n_1 」から「 n_n 」の変動は、中間ビームの光路長に影響を与え、半径「 r_1 」から「 r_n 」の変動はそれらの相対的なパワーに影響を与える。

図1-6により示された前述した五つのフィルタ全てのそれぞれの光路差発生器を通る中間光路では、物理的光路長は等しいが、有効屈折率は異なっている。スペーサプレート20および60は、異なる材料により特徴付けられる、長さの等しい中間光路を形成する。スペーサプレート30、70および90は、比率のみが異なる組合せを含む、異なる材料の組合せにより特徴付けられる、長さが等しい中間光路を形成する。ガラスおよび空気のような、それらの材料自体は、組成または均一な物理的状态が異なっても差し支えない。

入力ファイバ112と出力ファイバ114、単レンズ116、反射要素118、およびスペーサプレート120を備えた、図8に示されている多光路フィルタ110は、多光路フィルタ90とほとんどの点で同様である。多光路フィルタ90と同様に、スペーサプレート120は、「 L_1 」から「 L_n 」へと長さが変化し、「 r_1 」から「 r_n 」へと半径が変化する多数の環状要素122、124、126および128から構成されている。環状要素122、124、126および128のそれぞれの屈折率「 n_1 」から「 n_n 」は同一であっても、異なっても差し支えない。

しかしながら、上述した実施の形態の全てとは対照的に、共通の反射要素118とともに、環状要素122、124、126および128の相対的位置により、それらの長さ「 L_1 」から「 L_n 」の差だけ、中間ビームの物理的光路長が変化している。例えば、環状要素122と128との間の光路差は、以下のように表すことができる：

$$(4) \quad \Delta OPL = 2 (L_1 n_1 - L_n n_n)$$

異なる長さの環状要素122、124、126および128を収容するために、反射要素11

8は階段状となっている。これは、反射コーティングを環状要素122、124、126および128の端面に施すことにより最も容易に実施される。代わりに平面鏡を用いる場合には、中間ビームの物理的光路長は、図6の実施の形態と同様に平均化される。

図5および6の実施の形態と同様に、反射要素118を再形成することにより、単

レンズ116を除去しても差し支えない。しかしながら、連続湾曲表面として反射要素118を形成する代わりに、反射要素118の環状階段は、好ましくは、個々に湾曲されて、同様に焦点合せ機能を提供する。環状要素122、124、126および128は、第一焦点まで放射状線に沿ってテーパ状となっている。

前述した実施の形態のうちのいずれの一つにおいても、単レンズを異なる光学素子またはスペーサ上に刻まれた均一な回折パターンにより置き換えても差し支えない。反射表面上に刻まれている場合には、中間光路を、焦点の線にしたがうように形成する。

前述した全ての実施の形態のように、図9の実施の形態は、レンズ136またはその同等物とともに入力ファイバ132および出力ファイバ134を備えた多光路フィルタ130である。しかしながら、光路差発生器は、スペーサプレートの代わりに反射積重体140である。反射積重体140は、部分的反射表面144により分離された層142で作成されている。各々の層142は、一定の長さ「L」および一定の屈折率「n」を有するけれども、長さ「L」および屈折率「n」の両方は、層142間で異なって、より複雑なスペクトル応答を提供しても差し支えない。

部分的反射表面144の反射率は、所望のスペクトル応答を設定するのに必要とされる層142の数に関連する。例えば、20コの層142が必要とされる場合には、反射表面144の各々を、全体のスペクトルエネルギーの約5パーセントを反射するように作成する。層142の数は、前述した実施の形態のスペーサプレートを通過する中間光路の数と相似であり、各々の層142の反射率は、中間光路の横の面積に関連する。しかしながら、中間ビームは、各々の部分的な反射表面144のそれほど明確ではない面積により分離されていても差し支えない。

言い換えれば、中間ビームは、反射積重体140に進入する際およびそこから出る際に、実質的に同一の空間、例えば、全開口「A」を占めても差し支えない。しかしながら、それらのそれぞれの光路長は、長さ「L」の倍数に対応する光軸146に沿って伝達される異なる物理的長さにより特徴付けられる。このように、隣接する層142からの二つの中間ビーム間の光路長の方程式は、以下のように表される：

$$(5) \quad \Delta OPL = 2Ln$$

中間ビームは、伝搬する光ビームの少なくとも一つの波長の光路差「 ΔOPL 」だけ隔てられるべきである。20ミクロンから30ミクロンまでの範囲で予測される平均厚に関して、少なくとも10ミクロンの間隔が好ましい。反射表面144は、部分的な反射コーティング、限定された横の面積に施された完全な反射コーティング（例えば、金属点）、または屈折率が大きく異なる隣接する材料層により形成することかできる。少なくとも1パーセントの屈折率差を用いて、伝搬するビームの実質的に全てを反射させるのに必要な層の数を制限すべきであるが、実際のスペクトル応答を構成するためには、10パーセント以上の差が好ましい。好ましくは、100層以下を使用する。

同様の反射積重体の構成および製造に関するさらなる詳細が、「多重反射マルチプレクサおよびデマルチプレクサ」と題する、1996年2月23日に出願された我々の同時係属出願である米国特許出願第60/012,170号に開示されている。この出願をここに引用する。

上述した全ての実施の形態をバルク光学素子について示したけれども、同様の実施の形態を集積光学素子またはハイブリッド光学素子に関して実施しても差し支えない。例えば、入力および出力ファイバを、一つ以上の焦点合せおよび反射光学素子、並びに光路差発生器を備えた基体上に導波路として形成しても差し支えない。ハイブリッド設計としては、入力および出力ファイバ、並びに一つ以上の焦点合せ光学素子を第一の基体上に形成し、光路差発生器を第二の基体上に形成しても差し支えない。あるいは、第一の基体が光路差発生器も備え、反射要素が、第一の基体の壁に取り付けられたバルク光学素子として、またはその壁上の

反射コーティングとして別々に形成されていても差し支えない。焦点合せ光学素子は、別々に、または同一の集積素子の一部として形成されている湾曲した反射光学素子であっても差し支えない。

角許容差は、入力光路と出力光路との間の焦点合せを適切に実施するほど厳しくなければならない。しかしながら、横および縦の寸法に関して、多くの余裕が存在する。例えば、スペーサプレートの横の位置は、中間ビーム間の光の分布に影響を与えるが、わずかな変動では、スペクトル応答にはほんの制限された影響しか生じない。同様に、長さの寸法「L」は、0.25mmほどの大きさであって差

し支えなく、そのために、ミクロンの範囲のわずかな変動があまり重要ではない。

本発明は、図10および11に示すような単一モード光ファイバの一部として形成することもできる。多光路干渉フィルタ150が、単一モードファイバの隣接する端部152および154の間に形成されている。グリーン（勾配屈折率）ファイバロッドレンズ156および158並びに光路差発生器として機能する中央スペーサ160が、隣接する端部152および154の間に融着接続されている。

光が伝達されるある方向において、グリーンレンズ156がファイバの端部152から放出される光を平行にする。スペーサセグメント160は、グリーンレンズ156および158の間に延在する二つの軸セグメント162および164（中間光路）に分割されている。各々のセグメントは、異なる材料から作成され、少なくとも使用する波長範囲内にある異なる屈折率「 n_1 」および「 n_2 」を有している。ジャケット166を用いて、二つのセグメント162および164をカプセルで囲んでも差し支えなく、それによって、それぞれの材料は、固体と液体または固体と気体を含む様々な状態にあっても差し支えない。感光性（例えば、 $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$ ）または電気光学（例えば、液晶）材料を用いても差し支えない。

前述した実施の形態10、30、50および70と同様に、二つのセグメント162および164が、平行光を、光路長の異なる二つの中間ビームに分割する。グリーンレンズ158がこの二つの中間ビームを単一モードファイバの端部154の焦点で再結合させる。ファイバの端部154内で組み合わせられたビームの間に生じた干渉により、

図2に示したものと同様なスペクトル応答が形成される。異なる量の開口面積を占める追加のセグメントを用いて、さらに複雑な応答を提供しても差し支えない。

調整は、屈折率が温度、圧力、または電波もしくは磁場とともに変化する一種類以上の材料を用いて行うことができる。例えば、図12は、二つの同心セグメント172および174並びに金属電極178および180により部分的に囲まれたジャケット176を有する別のスペーサ170の断面図を示している。内側セグメント172はガラスから作成されており、外側セグメント174は、屈折率が温度とともに変化する高分子から作成されている。電極により高分子の温度を変化させることにより、セグメント172および174の間の光路差が変わり、それによって、フィルタのスペクトル応答が変わる。

図13および14は、グリーンファイバロッドレンズ182の製造方法を示すものである。ある長さ（約10cmから約20cm）のグレーデッド型ファイバ184を単一モードファイバ186に融着接続する。グレーデッド型ファイバ184は、ガウス分布にしたがって放射状に変化する屈折率を有している。グレーデッド型ファイバ184は、光軸に沿った点光源を再焦点合せする完全な周期の四分の一と等しい長さ「LG」まで線188に沿って、機械的に開裂される。特定の長さで、点光源からの光（すなわち、単一モードファイバの端部）が平行にされる。グリーンファイバロッドレンズに関するさらなる情報が、Journal of Lightwave Technology LT-5, 1987からの、W. L. EmkeyおよびC. A. Jackの「Analysis and Evaluation of Graded-Index Fiber Lenses」と題する文献の1156-1164頁に記載されている。この文献をここに引用する。

図15は、異なる様式で焦点合せ機能を果たす、本発明の多光路フィルタの別の実施の形態190を示している。図5および6の実施の形態70および90と同様に、反射表面198が、光軸196をまたぐ、隣接する入力ファイバ192および出力ファイバ194を結合させる。しかしながら、反射表面198は、焦点合せ機能も果たすように湾曲（好ましくは、バルクの実施において球状である）している。入力ファイバ192により放出される拡散ビームは、出力ファイバ194への集束光路上に反射

表面198により実質的に再帰反射される。

光軸196に沿って反射表面198を支持するスペーサ200は、屈折率の異なる、対称（または同心）光学素子202および204から構成されている。入力ファイバ192および出力ファイバ194を接続する等しい長さの中間光路の一部を形成する、光学素子202および204は、反射表面198の焦点206に向かって収束する。光学素子202および204の屈折率が異なることにより、出力ファイバ194に到達する再結合ビームのスペクトルパワー分布を変更する干渉パターンを形成する中間光路の光路長が変わる。

図8に示したようなものであるが、共通の焦点に配向された光軸に沿ってオフセットされた複数の個々の反射部により同様の焦点合せ機能を果たしても差し支えない。このオフセットにより、屈折率を変えるために、さらに追加に、または置換物として、中間光路の間に物理的な光路差を形成する。

様々な実施の形態における本発明を、通信技術および検出技術の分野における用途を含む、広い範囲の波長（例えば、1200 nm－1700 nm）に亘る様々な波用途に用いることができる。そのような用途の一つとしては、本発明のフィルタにより単離される特定の波長を増幅する光増幅器に関連するものがある。

【図1】

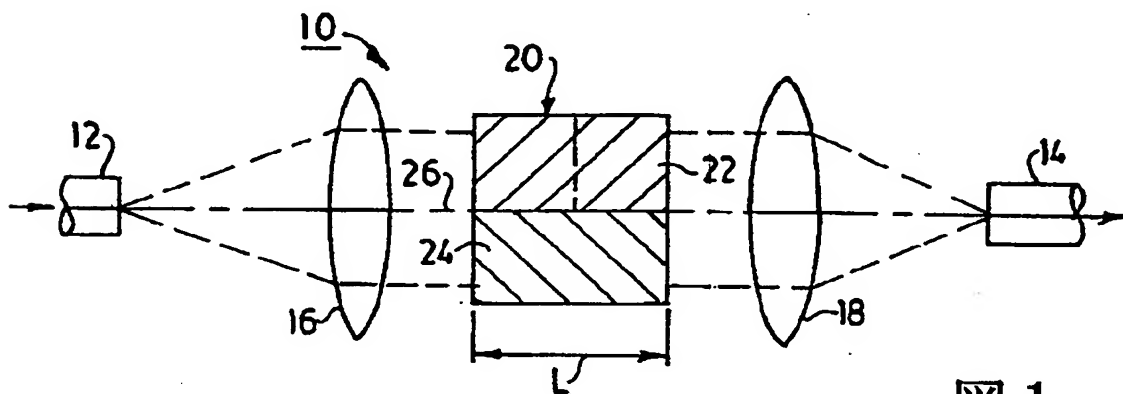


図 1

【図2】

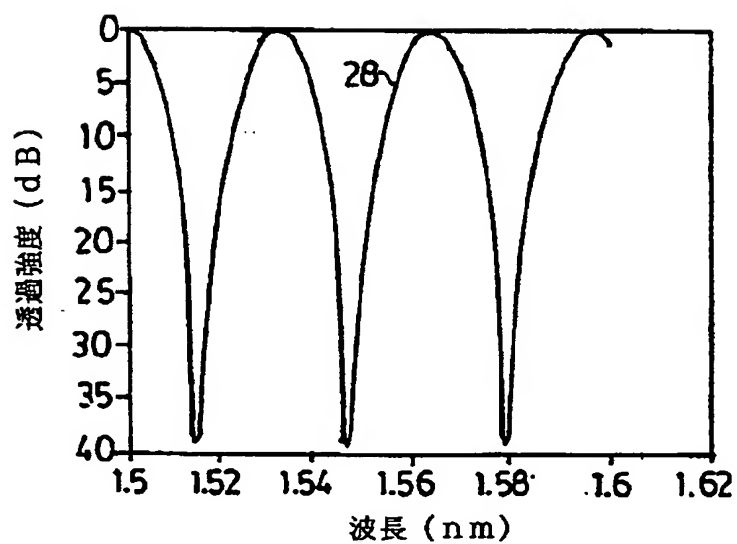


図 2

【図3】

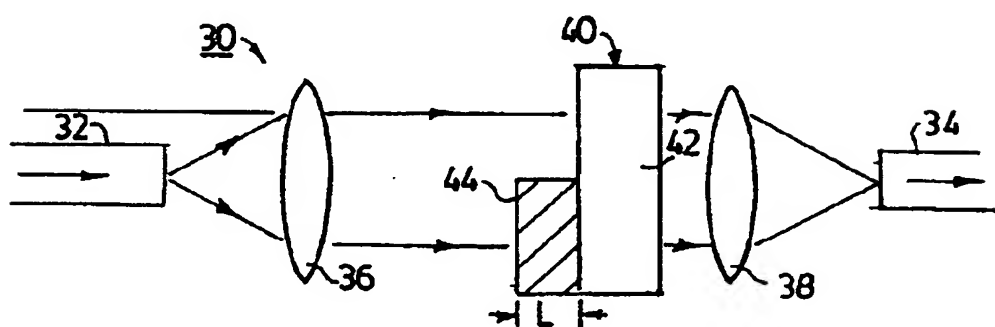


図 3

【図4】

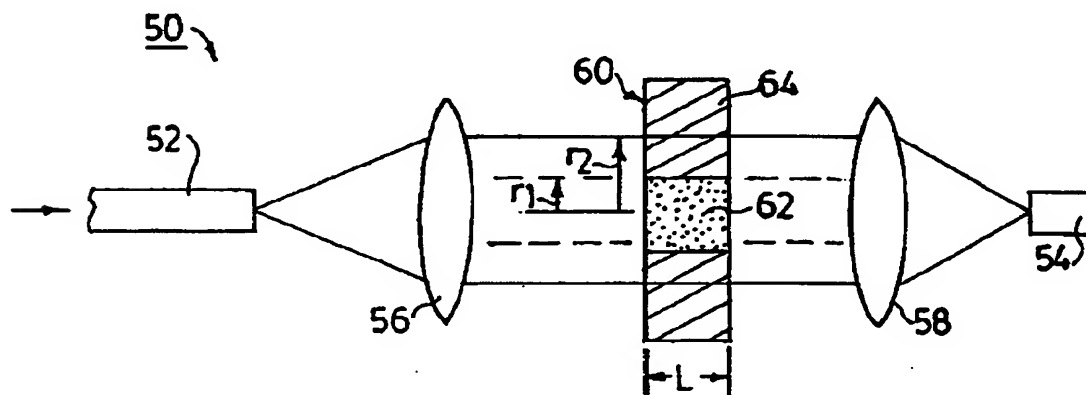


図 4

【図5】

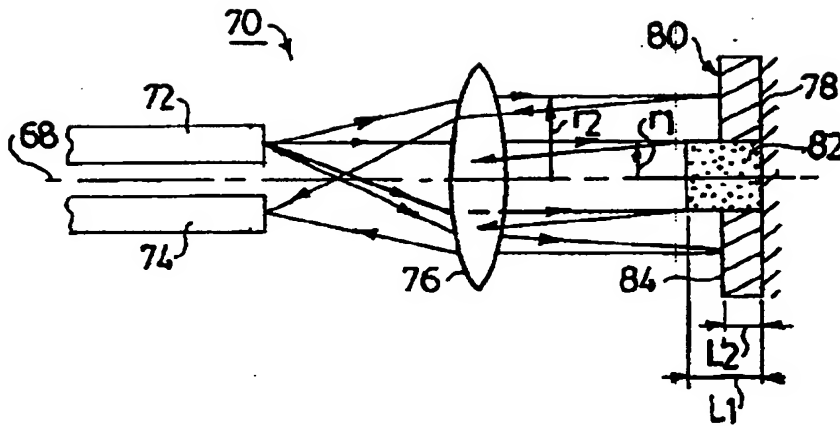


図 5

【図6】

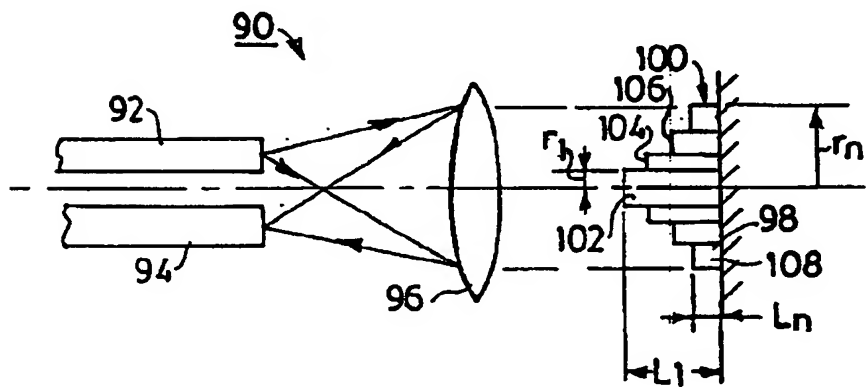


図 6

【図7】

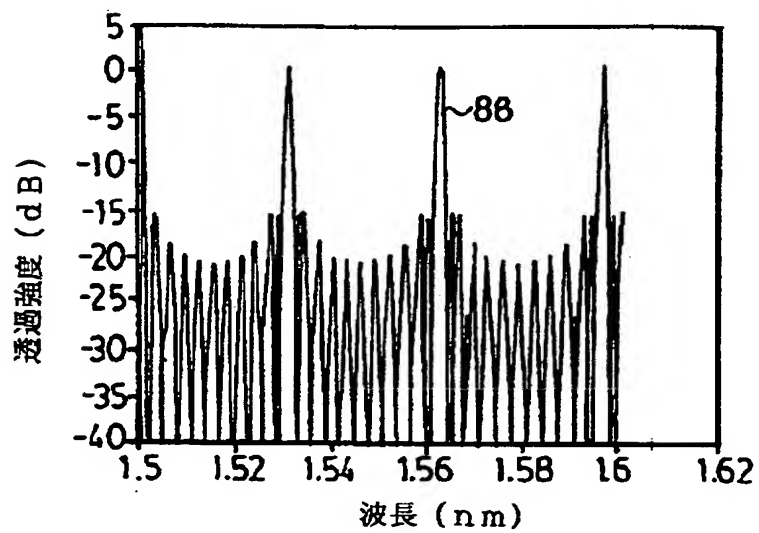


図 7

【図 8】

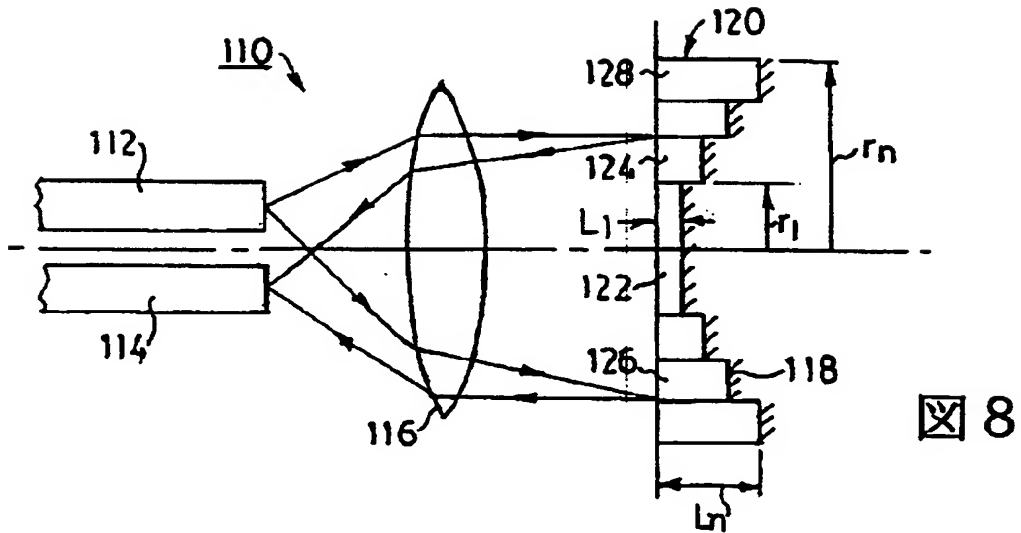


図 8

【図 9】

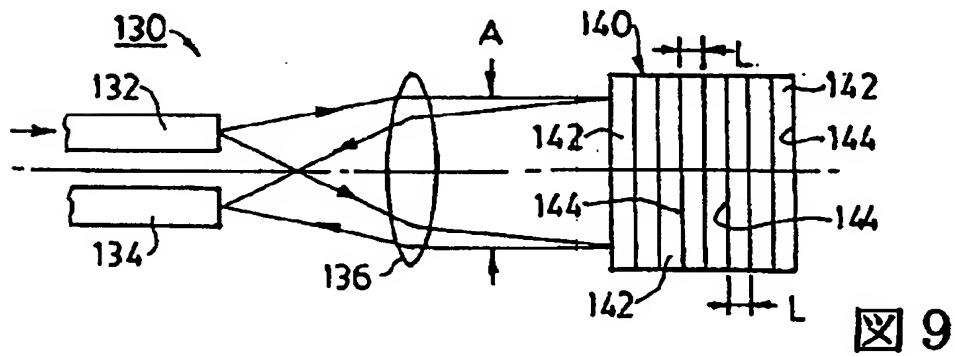


図 9

【図 10】

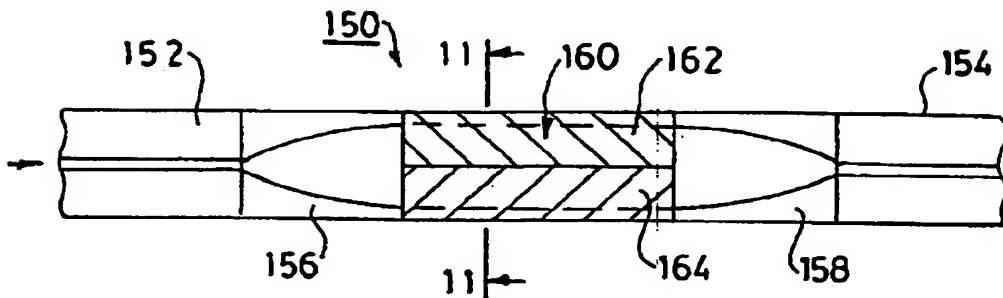


図 10

【図11】

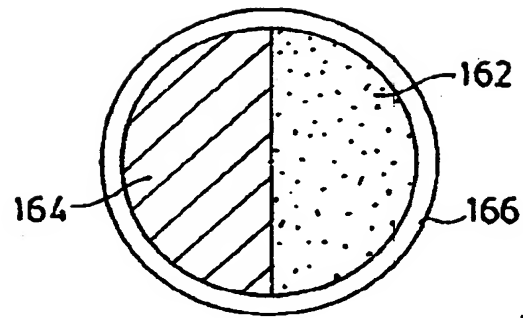


図 1 1

【図12】

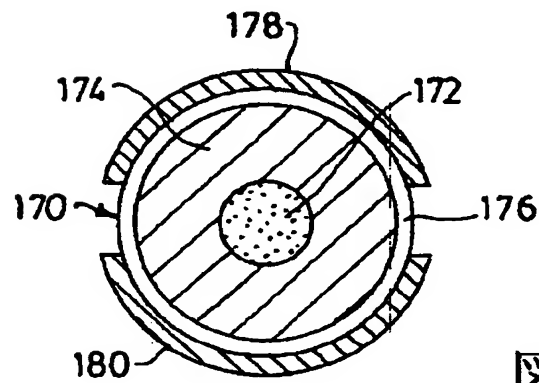


図 1 2

【図13】

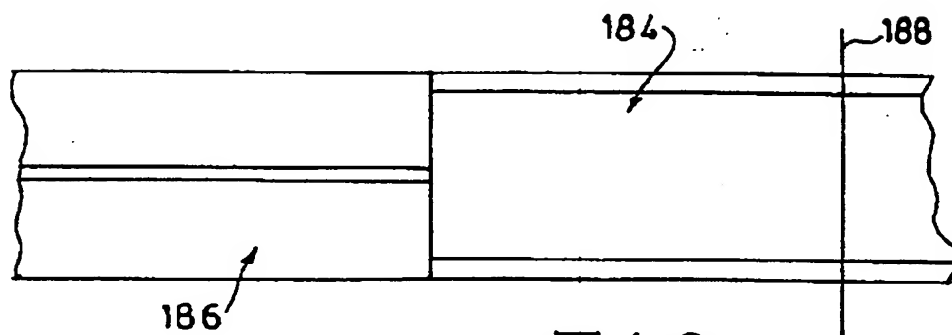


図 1 3

【図14】

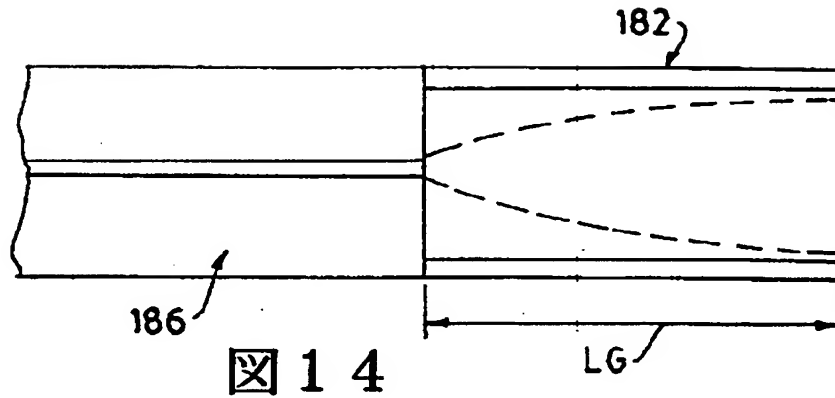


図 1 4

【図15】

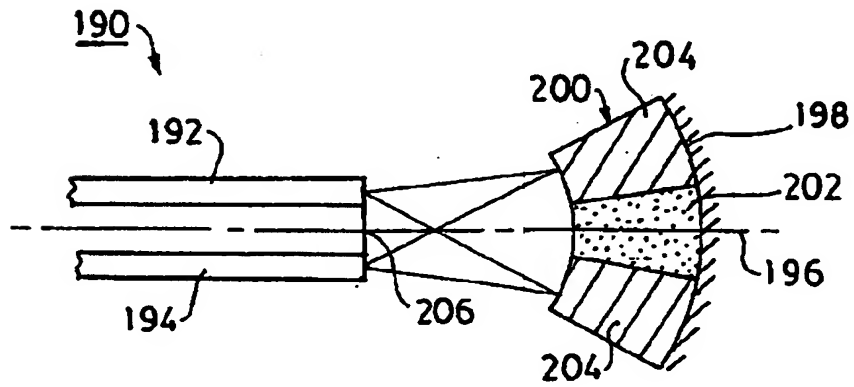


図 1 5

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US97/01509

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(6) : G02B 5/28, 6/24, 6/293

US CL : 359/577, 584, 589; 385/27, 31

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 359/577, 584, 589; 385/27, 31

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
359/578, 579, 580, 581, 586; 385/15, 32, 33, 34, 35, 39, 47

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

APS, search terms: interference, optical path, path difference, focus

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X --- A	US 3,493,288 A Kaufman et al 03 February 1970 (02/03/70), see entire document.	1,3,4,12,13,15 ,18 ----- 2 , 5 11,14,16,17, 19-43
X --- A	US 5,459,576 A (Brunfeld et al) 17 October 1995 (10/17/95), see entire document.	1 ----- 2-43
A	US 4,718,754 A (McIntosh) 12 January 1988 (01/12/88), see entire document.	1-43
A	NETHERCOT, JR., A. H. Light Modulator. IBM tech. dis. bull. December 1963, Vol. 6, No. 7, pages 55 and 56.	1-43

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" documents defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document published on or after the international filing date

"L" documents which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principles or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"A"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 APRIL 1997

Date of mailing of the international search report

14 MAY 1997

Name and mailing address of the ISA/US
Commissioner of Patents and Trademarks
Box PCT
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. (703) 305-3230

Authorized officer

JON W. HENRY

Telephone No. (703) 305-6106

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US97/01509

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5,140,464 A (KYOGOKU ET AL) 18 August 1992 (08/18/92), see entire document.	1-43
A	DE 2136266 (SCHOLLMEIER ET AL) 01 February 1973 (02/01/73), see entire document.	1-43